

# 蛛形纲动物含能值及其季节变动规律研究

陈小麟

(厦门大学生物学系, 厦门 361005)

**摘要:** 研究干旱地区蛛形纲动物的含能值变动规律。蛛形纲蝎目和蜘蛛目动物含能值之间的差异不显著, 平均含能值为 21.32J/mg 无灰干重。但是蝎目钳蝎科(22.13J/mg 无灰干重)、蜘蛛目的圆蛛科(22.82J/mg 无灰干重)、巨眼蛛科(22.65J/mg 无灰干重)、跳蛛科(23.08J/mg 无灰干重)和狼蛛科(21.76J/mg 无灰干重)的含能值显著地高于蟹蛛科(19.04J/mg 无灰干重)和盗蛛科(19.65J/mg 无灰干重)。蛛形纲动物含能值具有显著的季节变化, 平均含能值最高为秋季(23.05J/mg 无灰干重), 最低为春季(19.58J/mg 无灰干重)。蛛形纲动物不同体区的含能值具有显著差别, 腹部的含能值最高(22.48J/mg 无灰干重), 其次为头胸部(21.08J/mg 无灰干重), 四肢的含能值最低(20.24J/mg 无灰干重)。不同体区含能值同样也表现出季节变动, 最高为秋季(平均值 22.98J/mg 无灰干重), 最低为春季(平均值 19.80J/mg 无灰干重)。蛛形纲动物含能值与其含水量成不显著负相关( $r = -0.221$ ), 与其腹部、头胸部和四肢的含能值成显著正相关( $r$  相应为 0.757, 0.680 和 0.703), 并与其体重成显著正相关( $r = 0.371$ )。本文就蛛形纲动物作为猎物, 其含能值显著变动对昆虫动物食物选择的影响也进行了探讨。

**关键词:** 含能值; 蛛形动物生态; 蝎目; 蜘蛛目; 猎物质量

## Energy contents and their seasonal variations in arachnida

CHEN Xiao-Lin (Department of Biology, Xiamen University, Xiamen, 361005, China)

**Abstract:** The energy content and their seasonal variations of Arachnida in arid environment were studied. There was no significant difference between the energy content of Scorpionida and that of Araneae, their mean energy content was 21.32 J/mg ash free dry weight. However, the energy content in families of Buthidae (22.13 J/mg AFDW), Araneidae (22.82 J/mg AFDW), Deinopidae (22.65 J/mg AFDW), Salticidae (23.08 J/mg AFDW) and Lycosidae (21.76 J/mg AFDW) were significantly higher than that in Thomisidae (19.04 J/mg AFDW) and Pisauridae (19.65 J/mg AFDW). The energy content of Arachnida exhibited significantly seasonal variations and the maximum was found in autumn (23.05 J/mg AFDW) and the minimum in spring (19.58 J/mg AFDW). The energy content of different body regions in Arachnida showed significant variations. The highest energy content was found in opithosoma (22.48 J/mg AFDW), medium in prosoma (21.08 J/mg AFDW), and lowest in legs (20.24 J/mg AFDW). The energy content of different body regions in Arachnida also exhibited significantly seasonal variations, with the maximal values in autumn (the mean was 22.98 J/mg AFDW) and minimal in spring (the mean was 19.80 J/mg AFDW). The energy content of Arachnida correlated negatively to their water content, positively to the energy content of opithosoma, prosoma and legs, and also positively to body mass. The influence of significant variations in energy content of prey Arachnida on the food selection of insectivores was discussed.

**Key words:** energy content; Arachnida ecology; Scorpionida; Araneae; prey quality

文章编号: 1000-0933(2000)06-0977-05 中图分类号: Q958.1, Q493.8 文献标识码: A

能量流动是任何生态系统研究所关注的基本问题之一。蛛形纲动物作为生态系统的重要组成之一, 是

基金项目: 澳大利亚悉尼大学生命科学院野生动物研究所的资助支持

收稿日期: 1998-11-05; 修订日期: 1999-06-26

作者简介: 陈小麟(1957~), 男, 福建漳州人, 教授。主要从事动物生态学、生物多样性与保护研究。

生态系统中能量转化和传递的重要环节。能流研究时, 需要把生物量换算成能量, 因此, 对蛛形纲动物及其它各类生物含能值的测定就成为能流研究不可缺少的基本工作之一。

在各种生态系统中, 昆虫和蛛形纲动物是食虫动物的主要猎物<sup>[1,2]</sup>。近年来, 已经有许多食性生态学研究关注到各类食虫动物的最佳摄食对策。最佳摄食对策解释捕食动物的猎物选择, 其方法或手段也就是测定、分析捕食者从猎物获得多少能量以及在寻找、捕获、处理和摄入猎物需要消耗多少能量<sup>[3]</sup>。有关食虫动物最佳摄食对策的研究, 大多数是以 Golly<sup>[4]</sup>和 Cummins 等<sup>[5]</sup>所提出的  $23 \text{ J/mg}$  作为昆虫、蛛形纲和其它节肢动物的含能值标准<sup>[6,7]</sup>。但是, 正如 Golly 和 Cummins 曾指出, 由于生物的含能值受许多因素的影响, 因此, 如果有关研究是在特定区域或者需要精确, 那么, 就应当对特定生物的含能值进行测定。关于节肢动物的含能值研究, 昆虫方面的报道已经相当多<sup>[8-10]</sup>, 但蛛形纲动物方面却尚少<sup>[2]</sup>。

本文重点研究以下几方面的问题: 蛛形纲动物不同目或科之间的含能值是否存在差异。蛛形纲动物含能值是否存在季节变化。蛛形纲动物各身体区域的含能值是否存在差异和季节变化。本研究所探讨的上述问题也将有助于初步了解食虫动物食性选择或转变的原因, 而且本实验所测定的蛛形纲动物含能值, 还可作为其他与蛛形纲动物能量有关的生物学研究的参考值。

## 1 材料与方法

**1.1 蛛形纲动物的采集** 本研究在澳大利亚悉尼大学生命科学院完成。蛛形纲动物实验材料来自澳大利亚昆士兰州辛普森沙漠 ( $23^{\circ}46' \text{S}$ ,  $138^{\circ}25' \text{E}$ )。该地区为沙质土壤, 并形成沙丘。主要植被为三齿稗属 (*Triodia* sp.) 和金合欢属 (*Acacia* sp.)<sup>[11]</sup>。

实验全程按一年四季共采集蛛形纲动物 4 次, 采集时间分别为 1996 年 9 月 (南半球春季, 雨后)、1996 年 12 月 (夏季, 干燥)、1997 年 4 月 (秋季, 雨后) 和 1997 年 6 月 (冬季, 干燥)。采集方法为网捕。采集时, 注意包括地下、地面、草丛、水域以及气生等各种环境中的蛛形纲动物种类; 采集到的动物按照 Zborowski 等所提出的方法保活, 运回实验室<sup>[12]</sup>。

**1.2 含能值的测定** 在野外采集后的两天内, 将带回的蛛形纲动物按个体放入编号指管瓶内, 称重后低温处死。然后, 在  $60^{\circ}\text{C}$  条件下干燥至恒定, 再次称重以计算出含水量和干重<sup>[2,8]</sup>。蛛形纲动物鉴定到科级分类水平<sup>[13,14]</sup>。在 Olympus CH-2 立体显微镜下将蛛形纲动物分为头胸部、腹部和四肢 3 部分。分别称重, 磨成粉末并搅拌均匀后, 再取其中部分粉末加入少量蒸馏水压制成药片 10mg 重的片粒状样品。对于一些小型蛛形纲动物, 需要将几个同种、大小相似的个体的相同身体部分合在一起以制成至少为 5mg 的样品<sup>[5]</sup>。

片粒状样品再次放入  $60^{\circ}\text{C}$  恒温箱内至少干燥 12h, 然后取出在室温条件下降温后再次称重得到样品重量。用 Phillipson 微型氧弹热量计 (Gentry Instrument, Inc.) 连接 SP-G3C Speedex 记录仪 (John Morris Scientific Pty Limited) 测定样品的含能值。热量计每测定 30 个样本后用已知热当量的苯甲酸样品进行再校准。样品的灰分含量由每次测试后的样品托盘重量减去测试前的空托盘重量而计算获得。

**1.3 数据分析** 含能值用  $\text{J/mg}$  无灰干重 (Ash-free dry weight, AFDW) 表示。与  $\text{J/mg}$  干重含能值的表示方式相比, 无灰干重含能值的表示方式能够更为准确地反映出样品之间的含能值差异。因为, 沙土经常粘附在蛛形纲动物身上而难以去除, 如果沙土被包括在体重内将导致其含能值的估计出现偏差。用无灰干重含能值来表示则可以避免这种误差。

实验数据采用 SIGMA STAT 计算机软件 (Jandel Scientific for Windows, version 1.0) 进行统计分析。以该软件的单向方差分析方法 (One-way ANOVA) 及其 Student-Newman-Keuls 方法对有关数据组进行多重配对比较以检验其差异显著程度。相关分析的显著性检验采用  $t$  检验法。

## 2 结果

**2.1 蛛形纲动物及其不同类群的含能值** 表 1 为蛛形纲动物的含能值。蝎目和蜘蛛目动物的平均含能值为  $21.32 \text{ J/mg}$  无灰干重。蝎目的含能值 ( $22.13 \text{ J/mg}$  无灰干重) 高于蜘蛛目 ( $20.90 \text{ J/mg}$  无灰干重), 但差异不显著 ( $P > 0.05$ )。7 个不同科蛛形纲动物之间的含能值存在着显著差异 ( $P < 0.05$ )。其中, 蝎目钳蝎科、蜘蛛目的圆蛛科、巨眼蛛科、跳蛛科和狼蛛科蛛形纲动物的含能值显著地高于蟹蛛科和盗蛛科。蛛形纲动物的平均含水量为 70.05%。钳蝎科的含水量较低; 球蛛科、圆蛛科、栉状蛛科的含水量较高; 幽灵蛛科、蟹蛛

科、巨蟹蛛科、巨眼蛛科和猫蛛科的含水量最高; 3 组不同科蛛形纲动物之间的含水量存在着显著差异( $P < 0.05$ )。狼蛛科、跳蛛科和盗蛛科的含水量居于后 2 组之间( $P > 0.05$ )但比钳蝎科高( $P < 0.05$ )。在灰分含量方面, 平均值为 1.176%。钳蝎科和幽灵蛛科、蟹蛛科、球蛛科、巨蟹蛛科、巨眼蛛科以及圆蛛科、猫蛛科、盗蛛科 3 者之间的灰分含量存在显著差异( $P < 0.05$ )。实验还测定了 6 个样品蜘蛛卵的含能值, 其平均含能值为 27.23J/mg 无灰干重。

表 1 蛛形纲动物的含能值及其含水量变异\*  
Table 1 Variations of energy content and water content in Arachnida \*

科别	含能值(J/mg)	含水量(%)	灰分含量(%)
Family	Energy content	Water content	Ash content
蝎目 Scorpionida			
钳蝎科 Buthidae	22.13 <sup>a</sup>	65.46 <sup>a</sup>	0.738 <sup>a</sup>
蜘蛛目 Araneae			
幽灵蛛科 Pholcidae	20.90 <sup>ab</sup>	72.15 <sup>b</sup>	1.370 <sup>b</sup>
蟹蛛科 Thomisidae	19.04 <sup>b</sup>	72.70 <sup>b</sup>	1.369 <sup>b</sup>
狼蛛科 Lycosidae	21.76 <sup>a</sup>	71.92 <sup>bc</sup>	1.186 <sup>ab</sup>
管巢蛛科 Clubionidae	20.21 <sup>ab</sup>	73.01 <sup>b</sup>	1.170 <sup>ab</sup>
球蛛科 Therididae	21.03 <sup>ab</sup>	69.20 <sup>c</sup>	1.485 <sup>b</sup>
巨蟹蛛科 Sparassidae	20.45 <sup>ab</sup>	72.67 <sup>b</sup>	1.820 <sup>b</sup>
圆蛛科 Araneidae	22.82 <sup>a</sup>	69.65 <sup>c</sup>	3.128 <sup>c</sup>
栉状蛛科 Ctenidae	21.09 <sup>ab</sup>	69.55 <sup>c</sup>	0.814 <sup>ab</sup>
巨眼蛛科 Dinopidae	22.65 <sup>a</sup>	73.85 <sup>b</sup>	1.830 <sup>b</sup>
猫蛛科 Oxyopidae	20.99 <sup>ab</sup>	73.04 <sup>b</sup>	2.740 <sup>c</sup>
跳蛛科 Salticidae	23.08 <sup>a</sup>	71.18 <sup>bc</sup>	1.060 <sup>ab</sup>
盗蛛科 Pisauridae	19.65 <sup>b</sup>	71.64 <sup>bc</sup>	3.220 <sup>c</sup>
平均 Mean	21.32	70.05	1.176

\* 含能值的单位为 J/mg 无灰干重(AFDW)。同列数据右上角不同字母间表示其差异显著( $P < 0.05$ )。The unit of energy content is J/mg ash free dry weight. Values with different letter are significantly different in the same line.

2.2 蛛形纲动物含能值的季节变动 蛛形纲动物含能值具有明显的季节变动(图 1)。蝎目和蜘蛛目含能值及其平均值的季节变动规律基本一致。平均含能值在秋季最高(23.05 J/mg 无灰干重), 其次为夏季和冬季(21.88 和 21.75J/mg 无灰干重), 含能值最低的季节为春季(19.58J/mg 无灰干重)。秋季、冬夏两季和春季三者之间的含能值具有显著差异( $P < 0.05$ )。

2.3 蛛形纲动物不同体区的含能值及其季节变动 蛛形纲动物不同体区的含能值具有显著的差别( $P < 0.05$ )。腹部、头胸部和四肢 3 个体区的平均含能值分别为 22.48、21.08 和 20.24J/mg 无灰干重。不同体区的含能值具有明显的季节变动( $P < 0.05$ )。其中, 秋季最高(平均含能值为 22.98J/mg 无灰干重), 其次为夏季(21.15J/mg 无灰干重)和冬季(21.81J/mg 无灰干重), 春季最低(19.80J/mg 无灰干重)。各体区的季节变动趋势基本相似(图 2)。

2.4 蛛形纲动物含能值的相关因素分析

2.4.1 含能值与含水量的相互关系 蛛形纲动物含能值与含水量呈不显著的负相关( $r = -0.2212, P > 0.05$ )。蛛形纲动物含水量也具有季节变化的趋势(图 3)。其中, 蛛形纲动物含水量在秋季和夏季的最低(68.55% 和 68.87%), 其次是春季(69.73%), 冬季最高(71.06%), 但差异不显著( $P > 0.05$ )。

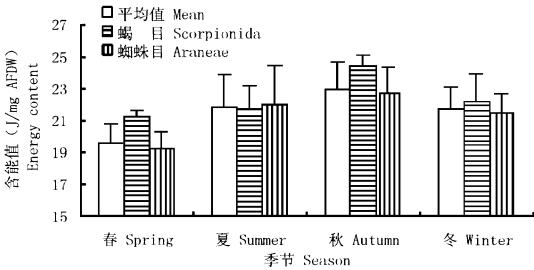


图 1 蛛形纲动物含能值的季节变动\*

Fig. 1 Seasonal variations of energy content in Arachnida \*

\* 秋季、冬夏两季和春季 3 者之间的含能值具有显著差异( $P < 0.05$ )。The difference among the energy contents in autumn, winter and summer, and spring is significant ( $P < 0.05$ )

2.4.2 含能值与体重的关系 蛛形纲动物含能值与鲜重的相关系数为 0.349,与干重的相关系数为 0.371。相关系数的检验结果表明,蛛形纲动物含能值与鲜重或干重的相关都是显著( $P < 0.05$ )的。

2.4.3 整体含能值与体区含能值的关系 蛛形纲动物整体含能值与其体区含能值存在着显著的正相关( $P < 0.05$ )。腹部、头胸部和四肢各体区含能值与整体含能值之间的相关系数分别为 0.757、0.680 和 0.703。尽管各相关系数的大小存在着一定的差异,腹部含能值与整体含能值的关系较为密切,但是检验结果表明相关系数之间的差异不显著( $P > 0.05$ )。

3 讨论

干旱地区蛛形纲动物的平均含能值为 21.32J/mg 无灰干重,该含能值低于节肢动物的一般标准值(23 J/mg 干重)<sup>[4,5]</sup>;干旱地区蛛形纲动物在秋季的最高含能值为 23.05 J/mg 无灰干重,同样也略低于秋季非干旱地区蜘蛛目的含能值(24 J/mg 干重)<sup>[2]</sup>。产生这种现象的原因可能是:干旱地区蛛形纲动物具有较厚的几丁质外壳,适应于减少蒸发水分。由于几丁质的含能值较体内物质(脂质、蛋白质)低<sup>[2,5]</sup>,导致干旱地区蛛形纲动物具有较低含能值。干旱地区蛛形纲动物几丁质外壳的厚度和硬度都比温带地区高,已经得到许多研究的证实<sup>[15,16]</sup>。蛛形纲动物不同体区含能值具有差异,原因同样也可能是由于其几丁质所占比例的不同所造成。蛛形纲动物不同体区几丁质厚度和硬度的高低顺序依次为头胸部、四肢和腹部<sup>[15]</sup>;另一方面,几丁质主要分布于节肢动物的体表,随着体区体积的增大,其相对体表面积趋向于减少<sup>[17]</sup>;蛛形纲动物四肢为细长形态,具有较大的体表面积,所含几丁质比例也较多,因此其含能值最低。

干旱地区蛛形纲动物含能值具有明显的季节变化。蛛形纲动物从春季开始贮存能量,到秋季时其含能值达到最大值,这些贮存的能量除了一部分用于繁殖以外,主要消耗于冬季,提供越冬的保障。从春季到秋季,蛛形纲动物的含能值以平均每月 2.4% 的比例增加,其中春季增加的比例较大,为 5.5%。相反,在冬季期间,其含能值则以平均每月 3.4% 的比例下降。已有研究报道,蛛形纲动物含能值在整个冬季季的 4 个月中都不断下降,含能值的下降主要是由于其贮存能量被代谢消耗所引起<sup>[2]</sup>。

生活在多变环境的生物,其含能值具有较大的变动,并且在有利条件下,能够贮存能量,以度过将来的不良季节<sup>[18,19]</sup>。干旱地区蛛形纲动物含能值受环境温度和降水的影响。在环境温度较高的春、夏、秋 3 季,蛛形纲动物贮存能量,含能值升高,相反环境温度较低的冬季,则消耗能量,含能值下降。干旱地区蛛形纲动物含能值增长最大的时期为温暖、降水的春季,最高值出现在温暖、降水后的秋季。干旱地区蛛形纲动物含能值的这种季节变动规律说明,在干旱环境中,降水因素也是影响蛛形纲动物含能值的重要因素之一。干旱地区的降水能够促进植物的生长,为蛛形纲动物提供丰富的食物,促进其成熟和繁殖,从而增加蛛形

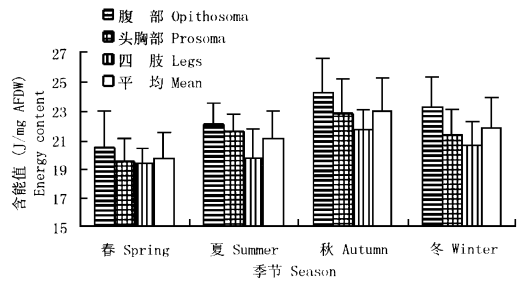


图2 蛛形纲动物不同体区含能值的季节变化\*

Fig. 2 Seasonal variations of energy content in the different body regions of A. rachnida \*

\* 蛛形纲动物不同体区及其不同季节的含能值具有显著的差别 ( $P < 0.05$ )。The energy contents of A. rachnida among different body regions or among different seasons are significantly different ( $P < 0.05$ )

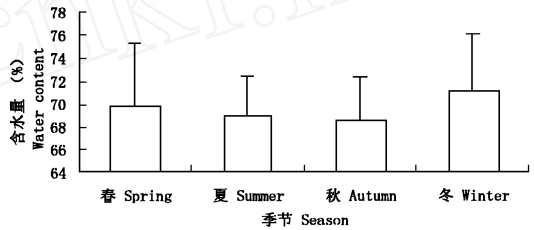


图3 蛛形纲动物含水量的季节变动\*

Fig. 3 Seasonal variations of water content in A. rachnida \*

\* 含水量的季节差异不显著 ( $P > 0.05$ )

\* There is no significant difference among the water contents in different seasons ( $P > 0.05$ )

纲动物体内能量的贮存。

不同发育阶段和繁殖状态也是影响生物含能值季节变化的主要原因, 这些因素通过影响生物体内脂质积累从而决定其含能值的高低<sup>[5]</sup>。随着蛛形纲动物的生长发育, 脂质含量逐渐增加, 含能值也相应增高; 在性成熟和繁殖时期, 脂质积累最多, 含能值最高<sup>[5, 10]</sup>。本实验结果显示, 蛛形纲动物含能值与体重或不同体区含能值成正相关, 与含水量成负相关。这种关系表明, 随着蛛形纲动物的生长发育, 个体逐渐增大, 同时, 脂质含量逐渐增加。脂质的积累发生于体内的各部分, 其中以腹部和头胸部两体区的积累较多。蛛形纲动物体内脂质的积累过程, 伴随着含水量的下降。

蛛形纲动物含能值及其变动规律对了解食虫动物的食物选择具有一定的指导意义。最佳摄食理论认为, 由于自然选择的结果, 捕食动物在摄食(包括觅食、捕食和进食)过程中, 其摄食对策是使自己的净能量获得率达到最大<sup>[3]</sup>。当捕食动物选择容易摄取并且含有较高能量的食物时, 其净能量获得率达到最大<sup>[9]</sup>。蛛形纲动物含能值与体重的正相关关系提示, 食虫动物选择适当的较大猎物, 由于其具有较高的相对含能值和总能量, 因此能够获得较多的总能量。蛛形纲动物含能值的季节变化以及在科间的差异, 提示食虫动物可能选择不同种类的蛛形纲动物, 或者在季节变化时转换食物, 以获得更多的能量, 满足生理的需要。同样, 蛛形纲动物不同体区含能值存在着显著的差异并且具有季节变动, 而且, 蛛形纲动物不同体区的几丁质外壳又具有不同的硬度<sup>[15]</sup>, 根据最佳摄食理论, 食虫动物因此在食物丰富的条件下, 也可能有选择地摄入蛛形纲动物的那些高含能值而且外壳较软的腹部部分, 而放弃那些低含能值而且外壳较硬的四肢部分, 从而能够有更多的时间捕食其它猎物。蛛形纲动物含能值与食虫动物食物选择的关系, 尚待进行相应的猎物饲养实验加以进一步检验。

## 参考文献

- [1] Chen Xiaolin, Dickman C R and Thompson M B. Diet of the mulgara, *Dasyurus cristicauda* (Marsupialia: Dasyuridae), in the Simpson Desert, central Australia *Wildl Res*, 1998, **25**: 233~ 243
- [2] Norberg R A. Energy content of some spiders and insects on branches of spruce (*Picea abies*) in winter; prey of certain passerine birds *Oikos*, 1978, **31**: 222~ 229
- [3] Stephens D W and Krebs J R. *Foraging theory*. Princeton: Princeton University Press, 1986
- [4] Golley F B. Energy values of ecological materials *Ecology*, 1961, **42**: 581~ 584
- [5] Cummins J W and Wuycheck J C. Caloric equivalents for investigation in ecological energetics *International Association of Theoretical and Applied Limnology, Mitteilungen Communications*, 1971, **18**: 1~ 158
- [6] Calver M C and Wooller R D. A technique for assessing the taxa, length, dry weight and energy content of the arthropod prey of birds *Aust Wildl Res*, 1982, **9**: 293~ 301
- [7] Diaz J A and Carrascal L M. Variation in the effect of profitability on prey size selection by the lacertid lizard *Psammodromus algirus* *Oecologia*, 1993, **94**: 23~ 29
- [8] Kumar A. Seasonal variations in the caloric contents of certain predatory insects in a village fish pond of Santhal Parganas (Bihar). *J. Environ. Biol*, 1996, **17**: 59~ 62
- [9] Brooks S J, Calver M C, Dickman C R, et al Does intraspecific variation in the energy value of a prey species to its predators matter in studies of ecological energetics? A case study using insectivorous vertebrates *Ecoscience*, 1996, **3**: 247~ 251
- [10] 邱星辉, 李鸿昌. 草原生态系统狭翅雏蝗种群的能量动态. *生态学报*, 1993, **13**(1): 1~ 8
- [11] Dickman C R, Downey F J and Predavec M. The hairy-footed dunnart *Smintopsis hirtipes* (Marsupialia: Dasyuridae) in Queensland *Aust Mammal*, 1993, **16**: 69~ 72
- [12] Zborowski P and Storey R A. *Field Guide to Insects in Australia*. Sydney: Reed Books, 1995
- [13] Cloudsley-Thompson J L. *Spider, Scorpions, Centipedes and Mites* London: Pergamon Press, 1968
- [14] Clyne D A. *A Guide to Australian Spiders* Melbourne: Nelson, 1977
- [15] Hillerton J E, Reynolds S E and Vincent J F V. On the indentation hardness of insect cuticle *J. exp. Biol*, 1982, **96**: 45~ 52
- [16] Fisher D O and Dickman C R. Diets of insectivorous marsupials in arid Australia: selection for prey type, size or hardness? *J. Arid Environ*, 1993, **25**: 397~ 410
- [17] Hadley N F. *Water relations of terrestrial arthropods* California: Academic Press, 1994
- [18] Slobodkin L B and Richman S. Calories/mg in species of animals *Nature*, 1961, **4785**: 299
- [19] Griffiths D. Caloric variation in crustacea and other animals *J. Anim. Ecol*, 1977, **46**: 593~ 605